

# UNTERSUCHUNG DER VIGILANZ BEI ÜBERWACHUNGSTÄTIGKEITEN ZUR ERGONOMISCHEN GESTALTUNG

Rico GANßAUGE, Annette HOPPE

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrgebiet  
Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie, Konrad-Wachsmann-Allee 1, D-03046 Cottbus,  
Tel. ++49-355-69-4822, sekr-awip@b-tu.de, www.b-tu.de/awip

**Kurzfassung:** Überwachungstätigkeiten, welche oft in Leitwarten ausgeführt werden, spielen in der Wirtschaft allgemein und insbesondere in der Energieerzeugung und –verteilung eine permanent wachsende Rolle. Verstärkt wird dieser Trend durch einen im Zuge der proklamierten Industrie 4.0 ansteigenden Automatisierungsgrad (Spath et. al 2013). Diese Tätigkeiten stellen eine besondere Herausforderung für arbeitswissenschaftliches Handeln dar, da bei ungünstiger Gestaltung die Gefahr der herabgesetzten Vigilanz (DIN EN ISO 10075-1: 2015) besteht. Hier kann eine günstige Tätigkeitsgestaltung (z.B. Aufgabenwechsel, Kurzpausensysteme) positive Auswirkungen zeigen. Die Beleuchtungsgestaltung des Arbeitsplatzes spielt ebenfalls eine erhebliche Rolle, da die Tätigkeit oft auch tagsüber unter künstlicher Beleuchtung ausgeführt wird. Hier konnte in den letzten Jahren die besondere Wirksamkeit kurzweiliger Beleuchtung ( $\lambda = 380 - 580\text{nm}$ ) nachgewiesen werden (vgl. Cajochen 2007). Am Lehrgebiet Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie wurden Untersuchungen in der betrieblichen Praxis durchgeführt, die die Wirkung von Umgebungsfaktoren auf die Vigilanz herausarbeiteten (Rockau, Hoppe, Ganßauge 2015). Daran anknüpfend erfolgte die Untersuchung der Beleuchtungswirkung im Labor. Es kamen verschiedene subjektive und objektive Messmethoden zum Einsatz, die einen Rückschluss auf die Vigilanz gestatteten. Im Ergebnis konnte das Absinken der Vigilanz nachgewiesen werden. Vorteile der kurzweiligen Beleuchtung tagsüber konnten nicht herausgearbeitet werden. Es wurden Empfehlungen für die Begleitung von Automatisierungsprozessen sowie die Beleuchtungsgestaltung abgeleitet.

**Keywords:** Überwachungstätigkeit, Automatisierung, Vigilanz, Beleuchtungsbedingungen

## 1. Theoretischer Hintergrund

Die Tätigkeit in Leitwarten kann je nach gewähltem Automatisierungskonzept mit hohen Anteilen monotoner Überwachung einhergehen (Löwe, Dalijono 2012). Insbesondere Automatisierungskonzepte, die einen hohen Überwachungsanteil aufweisen, können sich negativ auswirken. Zukünftig ist mit einer weiteren Zunahme dieser Art von Arbeitsplätzen zu rechnen, da sich die proklamierte Industrie 4.0 (Spath et. al. 2013) entwickelt sowie geänderte Bedürfnisse bei den Arbeitnehmern (Arbeit 4.0; BMAS (2015) bestehen. Dies stellt hohe Anforderungen an arbeitswissenschaftliches Handeln, da es hier recht schnell zu unerwünschten Folgen für die dort beschäftigten Operatoren kommen kann, wie z.B. der herabgesetzten Vigilanz (DIN EN ISO 10075-1: 2000). Als Vigilanz wird dabei eine spezielle Form von Aufmerksamkeit angesehen, die länger andauernde Aufmerksamkeitszuwendung bei relativ wenigen relevanten Reizen erfordert (Posner, Rafal 1987). Die herabgesetzte Vigilanz kann vor allem bei stark an technischer Machbarkeit orientierten Automatisierungskonzepten mit hohen Überwachungsanteilen auftreten (Grote et. al. 1999, S. 16f.) Bekannte und in der Praxis eingesetzte Gegenmaßnahmen, um die Herabsetzung der Vigilanz zu vermeiden sind Tätigkeitswechsel, die Anreicherung der Tätigkeit um

andersartige Nebentätigkeiten, z.B. administrativer Art oder Kurzpausensystem (vgl. DIN EN ISO 10075-2: 2000) Ebenso stellen Arbeitsumgebungsfaktoren, hier speziell die Beleuchtungsgestaltung, einen wichtigen Ansatzpunkt für arbeitswissenschaftliches Handeln dar. Insbesondere die Wirkung kurzwelligen Lichts von  $\lambda = 380 - 580\text{nm}$  auf die Aufmerksamkeit allgemein bzw. Vigilanz als eine spezielle Unterform konnte nachts gut belegt werden (Cajochen 2007), jedoch wurden auch mögliche längerfristige Gesundheitsgefahren andiskutiert (Erren et. al. 2010). Tagsüber existierten einige Befunde, die ebenfalls auf eine mögliche aufmerksamkeitssteigernde Wirkung hindeuteten (z.B. Revell, Arendt, Fogg, Skene 2006; Viola, James, Schlangen, Dijk 2008). Die Wirkungen wurden hierbei jedoch überwiegend mit subjektiven Methoden erfasst. In durchgeführten Praxisuntersuchungen am Lehrgebiet Awip konnten einige Trends hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Umgebungsfaktoren und Schläfrigkeit (und damit ungünstigerer Voraussetzungen für Vigilanz) gefunden werden (Rockau, Hoppe, Ganßauge 2015). Insgesamt zeigte sich jedoch dort ein uneinheitlicheres Bild, da viele Einflussfaktoren in einer Praxisstudie weniger gut kontrollierbar sind. Dies gab einen weiteren Ausschlag für die Konzeption und Durchführung der vorgestellten Laborstudie.

## 2. Zielstellung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die kurzfristige Wirkung von Beleuchtung mit hohen Anteilen im kurzwelligen Bereich des Lichtspektrums ( $\lambda = 380 - 580\text{nm}$ ) bei Tage auf die Vigilanz zu untersuchen. Dabei sollte ermittelt werden, ob sich der zu erwartende Vigilanzverlust bei Überwachungstätigkeiten durch kurzwellige Beleuchtung positiv beeinflussen lässt. Als erster Schritt waren dazu Stärke und Verlauf des Vigilanzverlustes nachzuweisen.

## 3. Methodik

Zur detaillierten Untersuchung der Fragestellung wurde eine Laborstudie konzipiert. Bei dieser wurde unter standardisierten Bedingungen eine simulierte Überwachungsaufgabe durchgeführt. Die Beleuchtungsbedingungen bestanden aus einer Versuchsbedingung mit hohen Anteilen im kurzwelligen Bereich („Blau“) und mit zeitlichem Abstand die Kontrollbedingung nahezu ohne derartige Anteile („Rot“, Abbildung 1).

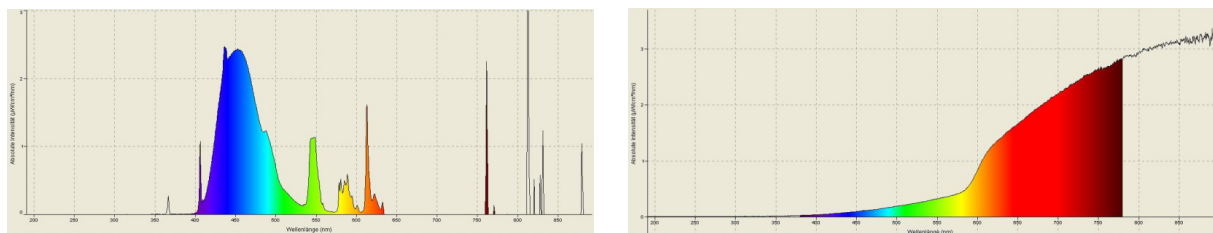


Abbildung 1: Spektrale Bestrahlungsstärke  $E_v(\nu)$  der Versuchs- und Kontrollbedingung

Die übrigen Bedingungen der Arbeitsumgebung, wie Raumtemperatur, Luftfeuchte und Geräuschpegel wurden weitestgehend konstant gehalten. Da es sich bei der Vigilanz um einen (bisher) nicht direkt beobachtbaren, nur indirekt erschließbaren Sachverhalt handelt, wurden mehrere direkte und indirekte Maße verwendet. Als direkte Maße dienten Fehleranzahl und Reaktionszeit in der simulierten Überwachungsaufgabe. Zusätzlich wurden Messungen durch Ratingskalen des subjektiven Müdigkeitsempfindens (KSS; Åkerstedt, Gillberg 1990) und mittels objektiver Verfahren zur Bestimmung der Schläfrigkeit („F<sup>2</sup>D“ der

Firma Amtech/ Dossenheim) durchgeführt (Abbildung 6), welche das allgemeine Aktivierungsniveau der Teilnehmer eruierten und damit indirekte Maße bildeten.

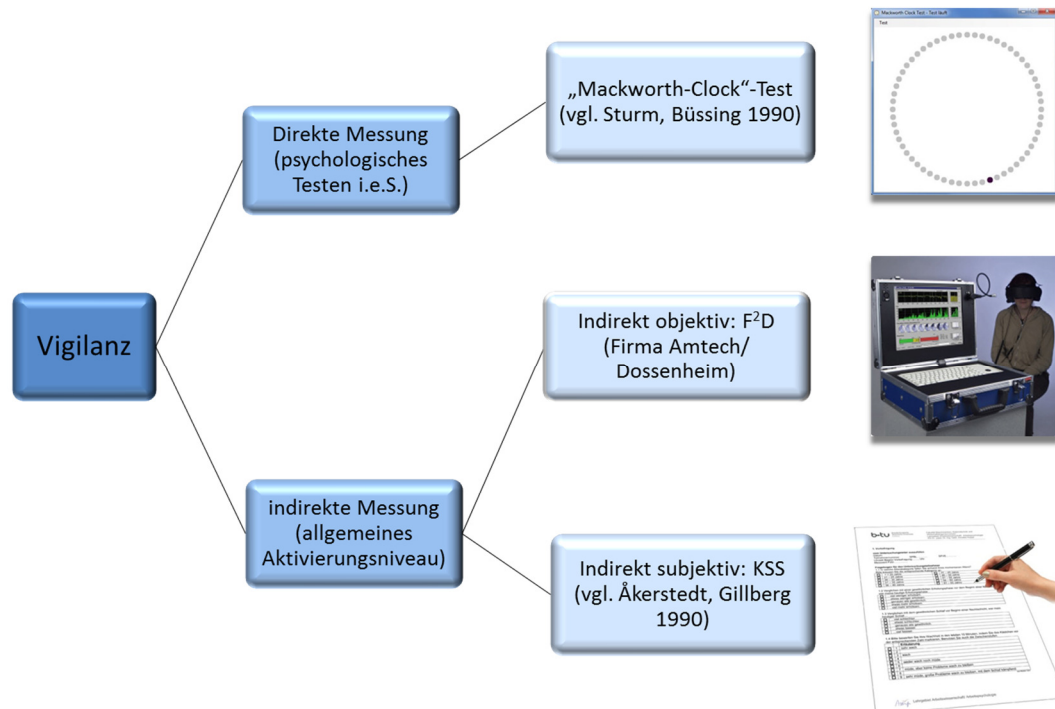


Abbildung 2: Im Laborversuch eingesetzte Verfahren

Beim der nachgebildeten Überwachungsaufgabe „Mackworth-Clock“-Test muss ein sich in einer Kreisbahn bewogender Leuchtpunkt beobachtet werden. Üblicherweise springt er in einfachem Abstand, wird jedoch zufällig und unvorhersehbar der doppelte Abstand übersprungen, soll dies durch einen Tastendruck quittiert werden. Erfolgt dieser Tastendruck nicht, oder wird die Taste ohne vorherigen doppelten Abstandssprung betätigt, zählt das als Fehler. Die Reaktionszeit wird ebenfalls aufgezeichnet. Erhöhte Fehleranzahlen und Reaktionszeiten gestatten einen Rückschluss auf die Verschlechterung der Vigilanz, da bei geringerem Aufmerksamkeitsniveau mehr Fehler gemacht werden. Dieser Test dauerte insgesamt 36min. Beim F<sup>2</sup>D-Test wird die Schwankungsbreite des Pupillendurchmessers als ein Maß über einen definierten Messzeitraum aufgezeichnet und anschließend daraus ein Schläfrigkeitswert bestimmt. Dieser korreliert positiv mit der Vigilanz, und gestattet so Rückschlüsse. Beim KSS-Fragebogen stehen höhere angekreuzte Werte ebenfalls für eine verringerte Vigilanz, da plausibel abzuleiten ist, dass bei höherer selbst wahrgenommener Müdigkeit mit schlechterer Vigilanz zu rechnen ist.

Das Laborexperiment war als eine Wiederholungsmessung konzipiert, so dass die Teilnehmer mit zeitlichem Abstand von mindestens einem Tag beide Beleuchtungsbedingungen durchliefen. Nach der Vorbefragung, um eine unerwünschte Beeinflussung durch Ereignisse außerhalb des eigentlichen Versuchsablaufes auszuschließen, erfolgten die Messungen mit dem KSS-Fragebogen und dem F<sup>2</sup>D-Gerät. Gleiches geschah nach Abschluss des Versuches. Somit konnte die Veränderung zwischen Vorher- und Nachhermessung bestimmt werden. Für die simulierte Überwachungsaufgabe „Mackworth-Clock“-Test wurde die Veränderung über die 36-minütige Versuchsdauer verglichen. Der Versuchsablauf gestaltete sich somit wie in Abbildung 3 dargestellt.

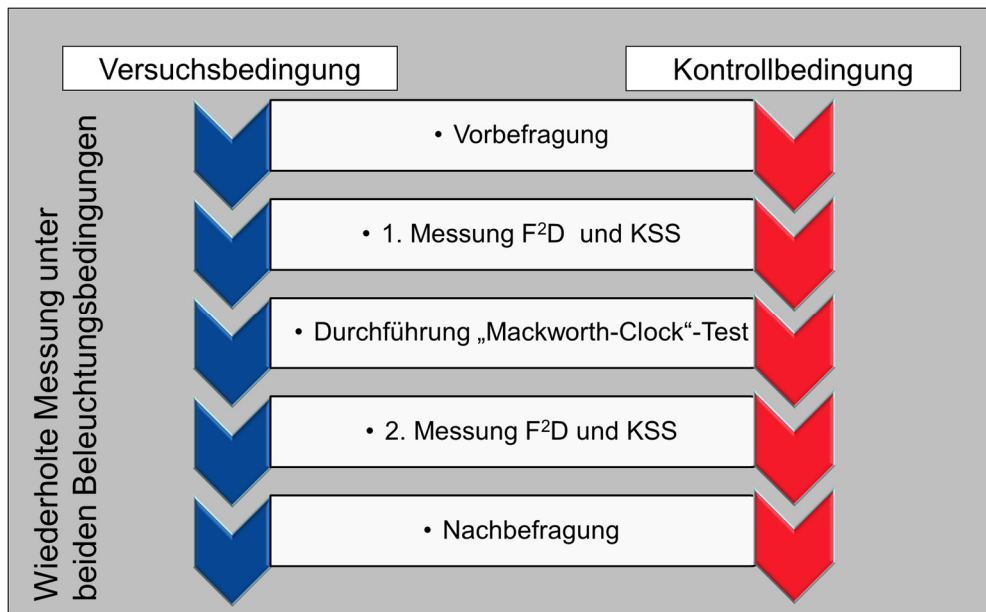


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes

Wiederholungsmessungen bieten Vorteile, da weniger Versuchsteilnehmer rekrutiert werden müssen. Dem stehen jedoch mögliche Nachteile in Form von Lern- und Reihenfolgeeffekten gegenüber (Bortz, Döring 2006, S. 549). Bei der sehr monotonen Anforderung des „Mackworth-Clock“-Test ist jedoch nicht von einer deutlichen Erlernbarkeit auszugehen. Ebenso ist bei den beiden anderen Messverfahren nicht plausibel von einer Verfälschung dadurch auszugehen. Zusätzlich wurde die Reihenfolge der beiden Bedingungen ständig variiert. Neben den für den Nachweis der Veränderung der Vigilanz genutzten Variablen wurde in der Vorbefragung zusätzlich sichergestellt, dass keine Beeinflussung der Teilnehmer durch zu geringe Ruhezeiten oder den Konsum aufmerksamkeitsverändernder Substanzen stattgefunden hat.

#### 4. Ergebnisse

Das Experiment wurde mit insgesamt N = 44 Teilnehmern durchgeführt. Davon waren 24 Probanden männlich und 20 weiblich. Die Geschlechterverteilung war also in etwa ausgewogen, was für die spätere Interpretation der Ergebnisse als wichtig anzusehen ist. Das Durchschnittsalter betrug 25,6 Jahre (SD = 4,4 Jahre). Die Stichprobe war also eher homogen, was für einen generellen Wirksamkeitsnachweis als günstig zu erachten ist (Sedlmeier, Renkewitz 2013, S. 12).

Die einzelnen Messwerte lieferten folgende Ergebnisse:

Über den Verlauf des „Mackworth-Clock“-Tests zeigte sich eine deutlich ansteigende Anzahl an gemachten Fehlern (Abbildung 4). Diese verdoppelte sich in etwa bei beiden Beleuchtungsbedingungen.

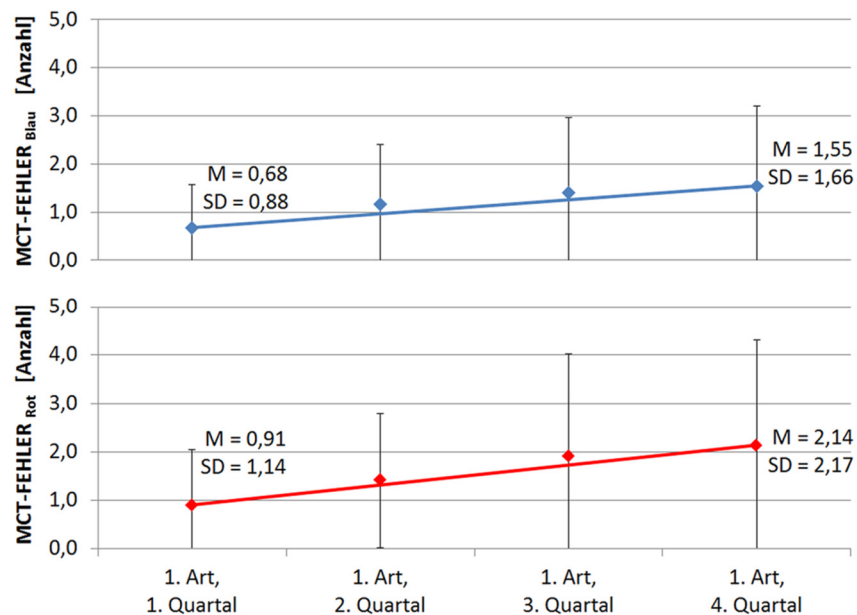


Abbildung 4: Entwicklung der Fehleranzahl über den Verlauf des Tests

Der statistische Test erfolgte mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA). Diese erbrachte für beide Beleuchtungsbedingungen eine signifikante Zunahme der Fehleranzahl über den Verlauf des Tests ( $F(4, 36) = 12,08$ ;  $p = 0,00$ ). Dieses Ergebnis bestätigte sich in den nachgeschalteten Post-Hoc-Tests.

Die Reaktionszeiten des Tastendrucks derselben Aufgabe stiegen ebenfalls über den Verlauf des Tests an, wenn auch nicht so deutlich wie die Fehleranzahlen (Abbildung 5).

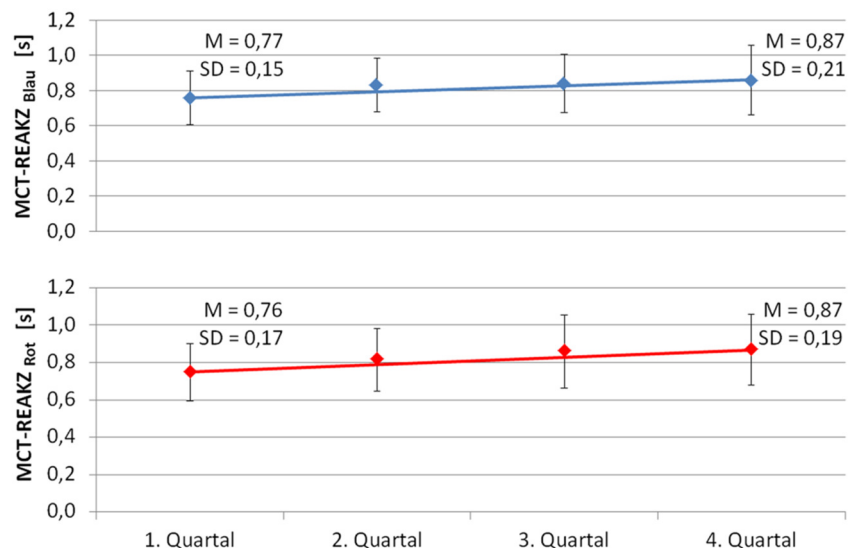


Abbildung 5: Entwicklung der Reaktionszeit über den Verlauf des Tests

Der statistische Test erfolgte ebenfalls mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA). Diese erbrachte für beide Beleuchtungsbedingungen eine signifikante Zunahme der Fehleranzahl über den Verlauf des Tests ( $F(4, 32) = 9,66$ ;  $p = 0,00$ ). Dieses Ergebnis bestätigte sich in den nachgeschalteten Post-Hoc-Tests.

Die mit dem pupillographischen Messgerät F<sup>2</sup>D vor und nach der Überwachungsaufgabe erhobenen Werte für objektive Schläfrigkeit, zeigten ebenfalls einen Anstieg an. Dabei

werden Werte von  $< 1,02$  Einheiten werden vom Hersteller als „wach“ bezeichnet, von  $1,02 - 1,50$  Einheiten als „kontrollbedürftig“. Diese Grenze wurde bei der Nachher-Messung überschritten (Abbildung 6).

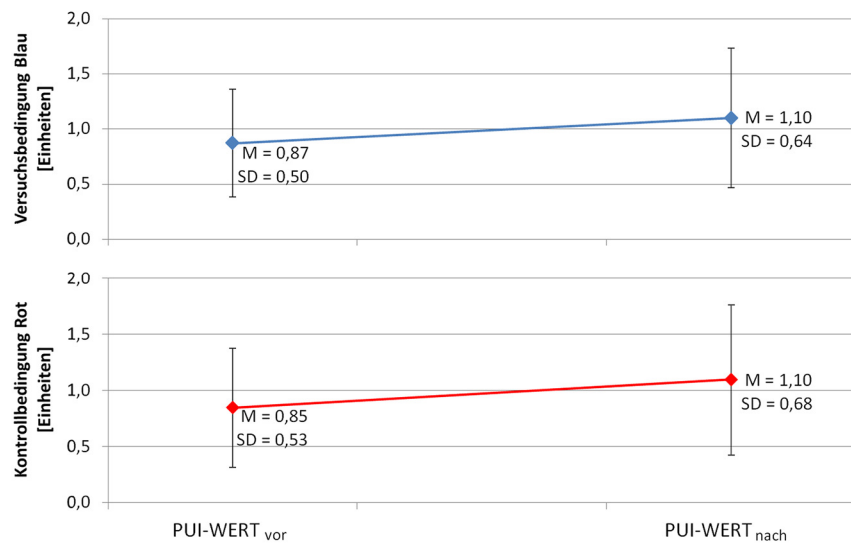


Abbildung 6: Veränderung des objektiven Schläfrigkeitswertes zwischen vor und nach der simulierten Überwachungsaufgabe

Die statistische Prüfung erfolgte wiederum mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) und ergab eine sehr signifikante Veränderung ( $F(1, 40) = 20,53$ ;  $p = 0,00$ ). Nachgeschaltete post-hoc-Tests bestätigten dieses Ergebnis auf der Ebene der einzelnen Unterschiede.

Der Wert der subjektiv wahrgenommenen Müdigkeit unterschied sich ebenfalls deutlich zwischen der Messung vorher und nachher. Er schwankte anfangs um Werte von 4,00 (die unbeschriftete Mittenkategorie zwischen „wach“ und „weder wach noch müde“), um danach auch nahezu 6,00 zu steigen (die unbeschriftete Mittenkategorie zwischen „weder wach noch müde“ und „müde, aber keine Probleme wach zu bleiben“; Abbildung 7).

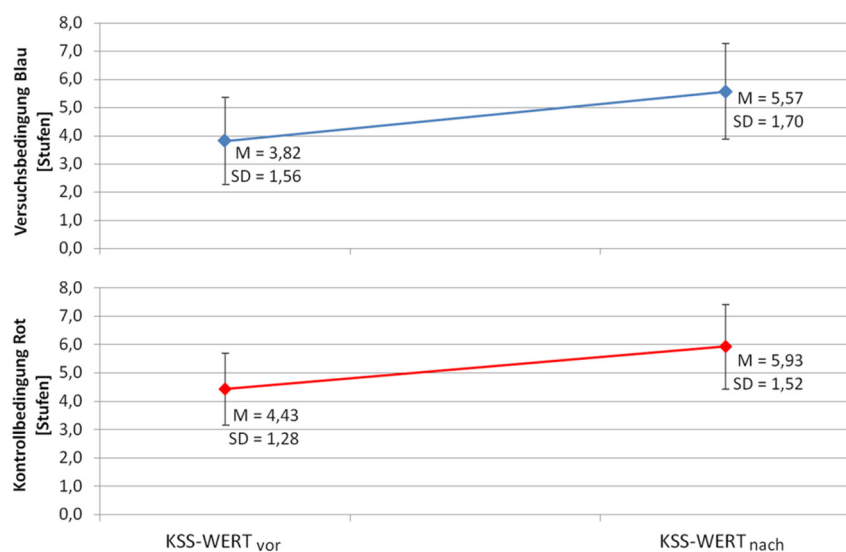


Abbildung 7: Veränderung des Wertes der subjektiv wahrgenommenen Müdigkeit

Hier erfolgte ebenfalls die statistische Prüfung durch eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA). Sie ergab eine sehr signifikante Veränderung ( $F(1, 38) = 27,66; p = 0,00$ ). Nachgeschaltete Post-Hoc-Tests bestätigten dieses Ergebnis auf der Ebene der einzelnen Unterschiede.

Da bei allen Messungen bei steigenden Werten ein Rückschluss auf eine verschlechterte Vigilanz gezogen werden kann, ist somit der deutliche Rückgang der Vigilanz bzw. deren Voraussetzung statistisch abgesichert nachgewiesen.

Wurden die Unterschiede zwischen den beiden Beleuchtungsbedingungen statistisch untersucht, konnte bei keinem der genutzten Maße ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Deutliche Vorteile kurzweiliger Beleuchtung tagsüber konnten somit nicht festgestellt werden.

## 5. Fazit

Insbesondere die ungünstige Wirkung monotoner Überwachung konnte gut nachgewiesen werden. Diese tritt, wie anfangs dargelegt, häufig bei Konzepten der maximalen, rein technisch getriebenen Automatisierung auf (Grote et. al. 1999, S. 16f.) Somit sollte arbeitswissenschaftliches Handeln vorrangig hier ansetzen und gestalterisch einwirken und Automatisierungskonzepte in der Praxis durch entsprechende Experten begleitet werden. Zur arbeitswissenschaftlichen Begleitung von Neu- und Umgestaltungsmaßnahmen, die die Art der Automatisierung tangieren, wurden Leitfragen erstellt. Diese sind schematisch in Abbildung 8 als Bereiche dargestellt.



Abbildung 8: Leitfragen zur Gestaltung der Automatisierung



Beispielhaft sollen hier einige Antworten auf Leitfragen näher erläutert werden. So sollte z.B. sichergestellt werden, dass das gewählte Automatisierungskonzept beim Operator der Leitechnik die Herausbildung eines mentalen Modells unterstützt. Auf dieses kann in außergewöhnlichen Situationen zurückgegriffen und somit die Chancen eines wirksamen Eingriffs erhöht werden. Gleichzeitig sollte vermieden werden, dass durch zu viele dem Operator aufgebürdete Handlungen Überforderung durch Technikstress entsteht (Hoppe 2009). Hierzu wurden durch Hoppe 10 Handlungsregularien im Umgang mit Technik für Nutzer und Hersteller entwickelt (Hoppe 2009; S. 128ff). Weiterhin sollte sichergestellt werden, dass bei Neu- oder Umgestaltungsmaßnahmen die dem Operator übertragene Verantwortung ausreichend wahrgenommen werden kann. Möglicherweise sind dazu Eingriffspunkte seitens der Leitechnik zu schaffen.

Die Arbeitsumgebungsgestaltung sollte ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden, auch wenn hier kein deutlicher Wirksamkeitsnachweis des kurzweiligen Lichts erbracht werden konnte. Für die Praxis konnten Hinweise zur Beleuchtungsgestaltung abgeleitet und neue Forschungsansätze zur Untersuchung der Beleuchtungswirkung aufgezeigt werden. Die gesamte Studie wird unter dem Titel „Untersuchung der Vigilanz unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen zur ergonomischen Gestaltung von Überwachungstätigkeiten“ (Ganßauge 2016) veröffentlicht.

## 6. Quellen

- Åkerstedt, T., Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52, S. 29–37
- Bortz, J., Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11, S. 453-464.
- DIN EN ISO 10075-1: 2000. Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe. Berlin: Beuth
- DIN EN ISO 10075-2: 2000. Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze. Berlin: Beuth
- Erren, T. C., Falaturi, P., Morfeld, P., Knauth, P., Reiter, R. J., Piekarski, C. (2010). Schichtarbeit und Krebs - Hintergründe und Herausforderungen. *Deutsches Ärzteblatt*, 107 (38), S. 657 – 662.
- Ganßauge, R. (2016). Untersuchung der Vigilanz unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen zur ergonomischen Gestaltung von Überwachungstätigkeiten. Aachen: Shaker (zur Veröffentlichung im Shake Verlag angenommen).
- Grote, G., Wäfler, T., Ryser, C., Weik, S., Zölch, M., Windischer, A. (1999). Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen. Die Analyse automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS. Zürich: vdf- Hochschulverlag
- Hoppe, A. (2009). *Technikstress - Theoretische Grundlagen, Praxisuntersuchungen und Handlungsregularien*. Aachen: Shaker
- Löwe, K., Dalijono, T. (2012). Entwicklung eines Operatorunterstützungssystems zur Steigerung der Sicherheit hochautomatisierter verfahrenstechnischer Anlagen. *Chemie Ingenieur Technik*, 84 (11), S. 2027 – 2034.
- Revell, V., Arendt, J., Fogg, L., Skene, D. (2006). Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. *Neuroscience Letters*, 399, S. 96 – 100.
- Rockau, M.; Ganßauge, R.; Hoppe, A.: Vigilanzuntersuchungen an Dauerüberwachungsarbeitsplätzen. In: Bericht zum 61. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 25. - 27. Februar 2015 am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab). Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Dortmund: GfA-Press, 2015.
- Sedlmeier, P., Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik*. München: Pearson
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer IAO
- Sturm, W., Büssing, A. (1990). Normierungs- und Reliabilitätsuntersuchungen zum Vigilanzgerät nach Quatember und Maly. *Diagnostica*, 36 (1)
- Viola, A., James, L., Schlangen, L., Dijk, D. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*; 34 (4), S. 297 – 306.